

Щ.В. АРГУН, А.В. ГНАТОВ, О.А. ДЗЮБЕНКО, С.В. ПОНІКАРОВСЬКА

ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧА ПЛИТКА З ЕЛЕКТРОМАШИНИМ ВУЗЛОМ НА БАЗІ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ

Розробка альтернативних малопотужних поновлюваних джерел електроенергії, які не впливають на навколишнє середовище (зелені джерела енергії) є актуальним науково-технічним завданням. Для його вирішення розглядаються і застосовуються цілі комплекси заходів. При цьому використовуються різноманітні методи і способи перетворення різних видів енергії в електричну. Актуальними є ті системи і пристрої, які можуть легко бути змонтовані і встановлені в будь-якому місці. Такі поновлювані джерела енергії повинні частково або повністю покрити потреби в електроенергії певного об'єкту. Метою роботи є дослідження процесу генерації електроенергії енергогенеруючою плиткою – альтернативним, поновлюваним джерелом електроенергії – в залежності від кількості крокових двигунів та схеми їх підключення в електромашинному вузлі. Використовувались методи проведення та обробки експериментальних досліджень, методи теорії електроприводу та методи розрахунку електричних кіл. Розроблено дослідний зразок енергогенеруючої плитки з електромашинним вузлом, який може працювати з одним або двома кроковими двигунами для генерації електроенергії. Представлено результати експериментальних досліджень у вигляді осцилограм залежності напруги від часу. За отриманими експериментальними даними проведено їх обробку та аналітичні обчислення, результати яких представлені у вигляді графіків залежності потужності від часу. Визначено, що підключення двох крокових двигунів до електромашинного вузла енергогенеруючої плитки дозволяє підвищити значення згенерованої електроенергії приблизно в 3,9 рази. Один крок на енергогенеруючу плитку генерує в середньому 1,16 Вт електроенергії. Визначено, що кількість згенерованої енергії в більшій мірі залежить не від ваги людини, а від того, як швидко (різко) виконується крок. Чим швидше темп ходьби і більш різко виконуються кроки, тим більше енергії генерується. З огляду на дані експериментальних досліджень енергогенеруючої плитки і знаючи щільність людського потоку, можна, оцінити її потенціал. Тобто, яку кількість електроенергії вона може згенерувати за певний час своєї роботи. Це допоможе визначити потрібну кількість плиток для забезпечення потреб в електричній енергії конкретного об'єкта

Ключові слова: альтернативне джерело енергії, енергозбереження, кроковий двигун, генерація електроенергії, енергогенеруюча плитка, електромашинний вузол, електроенергія, електрична потужність, зелена енергія.

Щ.В. АРГУН, А.В. ГНАТОВ, А.А. ДЗЮБЕНКО, С.В. ПОНІКАРОВСКАЯ

ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩАЯ ПЛИТКА С ЭЛЕКТРОМАШИНЫМ УЗЛОМ НА БАЗЕ ШАГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Разработка альтернативных маломощных возобновляемых источников электроэнергии, которые не влияют на окружающую среду (зеленые источники энергии) является актуальным научно-техническим заданием. Для его решения рассматриваются и применяются целые комплексы мероприятий. При этом используются различные методы и способы преобразования различных видов энергии в электрическую. Актуальными являются те системы и устройства, которые могут легко быть смонтированы и установлены в любом месте. Такие возобновляемые источники энергии должны частично или полностью покрывать потребности в электроэнергии определенного объекта. Целью работы является исследование процесса генерации электроэнергии энергогенерирующей плиткой – альтернативным, возобновляемым источником электроэнергии – в зависимости от количества шаговых двигателей и схемы их подключения в электромашинном узле. Использовались методы проведения и обработки экспериментальных исследований, методы теории электропривода и методы расчета электрических цепей. Разработан опытный образец энергогенерирующей плитки с электромашинным узлом, который может работать с одним или двумя двигателями для генерации электроэнергии. Представлены результаты экспериментальных исследований в виде осциллограмм зависимости напряжения от времени. По полученным экспериментальным данным проведено их обработку и аналитические вычисления, результаты которых представлены в виде графиков зависимости мощности от времени. Определено, что подключение двух шаговых двигателей к электромашинному узлу энергогенерирующей плитки позволяет повысить значение сгенерированной электроэнергии примерно в 3,9 раза. Один шаг на энергогенерирующую плитку генерирует в среднем 1,16 Вт электроэнергии. Определено, что количество сгенерированной энергии в большей степени зависит не от веса человека, а от того, как быстро (резко) выполняется шаг. Чем быстрее темп ходьбы и резче выполняются шаги, тем больше энергии генерируется. Учитывая данные экспериментальных исследований энергогенерирующей плитки и зная плотность людского потока, можно, оценить ее потенциал. То есть, какое количество электроэнергии она может сгенерировать за определенное время работы. Это поможет определить нужное количество плиток для обеспечения потребностей в электрической энергии конкретного объекта.

Ключевые слова: альтернативный источник энергии, энергосбережение, шаговый двигатель, генерация электроэнергии, энергогенерирующая плитка, электромашинный узел, электроэнергия, электрическая мощность, зеленая энергия.

SHCH. V. ARHUN, A.V. HNATOV, O.A. DZYUBENKO, S.V. PONIKAROVSKA

ENERGY-GENERATING PLATE WITH ELECTRIC MACHINE UNIT ON THE BASIS OF STEP ENGINES

The development of alternative low-power renewable sources of energy that do not affect the environment (green energy sources) is a topical scientific and technical task. In order to solve it, the whole complex of measures are considered and applied. Various ways and methods for converting various types of energy into electricity are used. The systems and devices that can easily be assembled and installed anywhere are considered to be the most relevant. Such renewable sources of energy must partially or fully cover the electricity needs of a particular facility. The aim of the work is to study the process of generating electricity by power generating plates - an alternative, renewable source of electricity - depending on the number of stepper motors and the scheme of their connection in the electric machine unit. The methods for conducting and processing experimental research, methods of electric drive theory and methods for calculating electrical circuits were used. A prototype of an energy generating plate with an electric machine unit that can work with one or two engines to generate electricity has been developed. The results of experimental studies are presented in the form of oscillograms of the dependence of voltage on time. According to the obtained experimental data, their processing and analytical calculations were carried out, the

© Щ. В. Аргун, А. В. Гнатов, О. А. Дзюбенко, С.В. Понікаровська, 2018

results of which are presented in the form of graphs of power versus time. It was determined that the connection of two stepper motors to the electric machine unit of the power generating plate allows increasing the value of the generated electricity by about 3.9 times. One step on the power generating plate generates an average of 1.16 watts of electricity. It has been determined that the amount of generated energy to a greater extent depends not on the weight of the person, but on how quickly (abruptly) the step is performed. The faster the pace of walking and the sharper the steps, the more energy is generated. Considering the data of experimental studies of the power generating plate and knowing the density of the human flow, it is possible to evaluate its potential, i.e. the amount of electricity that it can generate for a certain time. This will help determine the right amount of plates to meet the electrical energy needs of a particular object.

Keywords: alternative source of energy, energy saving, stepper motor, electric energy generating, energy-generating plates, electric machine unit, electric energy, electric power, green energy.

Вступ. У зв'язку з постійним розвитком технологій та нової техніки, яка є споживачем електрики, питання генерації електроенергії набуває все більшої актуальності. Особливо нагальне це питання для великих міст та мегаполісів, де велике скупчення людей вимагає нових технологій, сервісів та пристроїв для їх обслуговування. Поряд з цим, питання екологічної безпеки та чистоти в таких містах набуває особливого значення, де вже неприпустимі компроміси. Тому з кожним роком спостерігається встановлення все жорсткіших екологічних норм як в окремих містах, так і країнах в цілому [1, 2].

На цей час велика кількість розвинених країн виявляють наміри щодо переходу на поновлювальні джерела електроенергії. Наприклад, Шотландія має намір з 2020 р. повністю перейти на поновлювальні джерела електроенергії [2].

Для активного впровадження поновлювальних джерел електроенергії розглядаються та застосовуються цілі комплекси наукових, науково-технічних, освітніх та інших заходів. Під це в багатьох країнах виділяється великі суми грантових коштів, а саме: Horizon 2020; Erasmus+; "Кліматичні інноваційні ваучери" – найбільша грантова програма для новаторів та розробників чистих технологій в Україні; Energy Globe Award 2019 for sustainability [4] тощо.

Неабияку роль тут відіграють міжнародні фінансові інститути (IFI) [5]. В Україні вони представлені в основному фінансовими інститутами групи Всесвітнього банку (IFC, ЄБРР, СІБ, Світовий банк) та американською корпорацією зарубіжних приватних інвестицій (ОПІС). Досить часто, додатково з кредитом, організації надають гранти для експертного супроводу проектів та їх оцінки.

Отже, альтернативні малопотужні джерела електроенергії набувають все більшої популярності і отримують все більше фінансування. Вони здатні не тільки розвантажити основні електросистеми, а й провести ефективне збалансування конкретної системи по навантаженню. Особливою увагою та попитом користуються малопотужні «зелені» джерела електроенергії. Тобто ті, що не шкодять навколишньому середовищу. Отже розвиток сонячної, вітрової та геотермальної енергетики набуває все більших розмахів [1]. Але далеко не завжди можна скористатися вище переліченими джерелами енергії. Наприклад, в приміщеннях або великих містах часто немає можливості встановити сонячні панелі чи вітрогенератори. Тому досить привабливими з економічної та екологічної точки зору є невеликі системи чи пристрої, що мають гарну мобільність та можуть бути легко встановлені у будь-якому місці для альтернативного та децентралізованого живлення. При

цьому, мається на увазі те, що дана система (пристрій) здатна частково або повністю забезпечити електроенергією споживачів [6, 7].

Тому розробка пристроїв перетворення та генерації електроенергії є актуальною задачею, розв'язання якої дозволить не тільки вирішати питання електроживлення а й сприятиме прискореному переходу на чисті та поновлювальні джерела електроенергії.

У даній роботі представлено експериментальні дослідження енергогенеруючої плитки з різною кількістю підключених крокових двигунів (КД) до електромашинного вузлу. КД тут виконує функції електрогенератора [8]. Досліджувана енергогенеруюча плитка має компактні габаритні розміри і призначений для встановлення в містах з великою (щільною) прохідністю людей (як в середині приміщення, так і зовні). При виконанні кроку на плитку йде процес генерації електроенергії. В роботі представлено опис експериментальних досліджень з визначенням кількості згенерованої електроенергії від одного кроку на енергогенеруючу плитку. Визначено доцільність використання декількох КД в якості генераторів електроенергії. Представлено аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень та їх обробки.

Аналіз публікацій. Плитка Pavegen, розроблена англійським дослідником Лоуренсом Кемпбелл-Куком є аналогом запропонованої енергогенеруючої плитки, яка перетворює кінетичну енергію від кроків людей в електричну [7]. Аналогічна розробка також описана в патенті [9]. Винахід відноситься до пристроїв збору енергії на дорогах і автомагістралях з використанням п'єзоелектричних генераторів. Недоліком цієї розробки є те, що вона є стаціонарною і вимагає монтажу спеціального устаткування. В роботі [10] представляється механізм, який безпосередньо об'єднує два процеси в один. За задумом авторів механічна енергія перетворюється і одночасно зберігається, як хімічна енергія, не проходячи проміжну стадію першого перетворення в електрику. Але, нажаль, авторами не вказані експлуатаційні характеристики даної розробки. У статті [11] вчені наводять обґрунтування використання п'єзоелектричних перетворювачів на дорозі з асфальтовим покриттям з точки зору ефективності виробництва енергії. У роботі представлено перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну, але не наведені конкретні технічні рішення для практичного використання цього процесу. В статті [12] досліджено генератор з прямим приводом на основі принципу нелінійної комутації і представлено аналіз ефективності системи управління при

виробленні електроенергії, але не наведено кількісні показники згенерованої енергії. Автори статті [13] досліджують пристрій перетворення кінетичної енергії від вібрацій в електричну. Досліджено прототип «Vibration Energy Harvester», де основним елементом перетворення енергії є п'єзoeлектричний матеріал. В роботі [14] автори аналізують системи збору енергії на основі п'єзoeлектричних елементів, вбудованих в структуру дорожніх покриттів. Загальними недоліками пристроїв і систем на основі п'єзoeлементів є: малий ресурс їх роботи, невелика надійність і незначні енергетичні показники з точки зору згенерованої потужності. Вельми перспективним видається використання КД в малопотужних системах генерації електроенергії, аналогами яких є плитка або дорожнє покриття, що генерують електроенергію [8, 15]. У роботах [16, 17] представлені результати чисельного моделювання для КД, але не наведено енергетичні характеристики. У статті [18] запропоновано цікаве рішення для портативної техніки – ручний світлодіодний ліхтарик, що включає в себе редукторний КД і вбудовану електронну схему. Однак будь-яких конкретних чисельних значень згенерованої енергії не представлено. Також для даної конструкції не наведено схеми побудови редуктора і його параметри.

Проведений огляд публікацій за темою дослідження показує, що дана тематика є актуальною для широкого загалу.

Метою роботи є дослідження процесу генерування електроенергії енергогенеруючою плиткою, як альтернативного, поновлювального джерела електроенергії, в залежності від кількості та схеми підключення крокових двигунів до її електромашинного вузла.

Конструкція енергогенеруючої плитки

Енергогенеруюча плитка може включати декілька електромашинних вузлів, що генерують електроенергію, або декілька електродвигунів в одному електромашинному вузлі. Потрібно визначити ступінь впливу кількості електродвигунів в електромашинному вузлі енергогенеруючої плитки на значення згенерованої електроенергії.

Схема електрична-принципова енергогенеруючої плитки представлена на рис. 1. У відповідності до представленої схеми була розроблена конструкція енергогенеруючої плитки. Загальний вид електромашинного вузла розробленої конструкції енергогенеруючої плитки представлено на рис. 2.

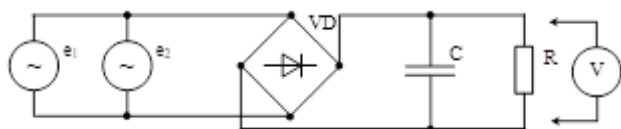


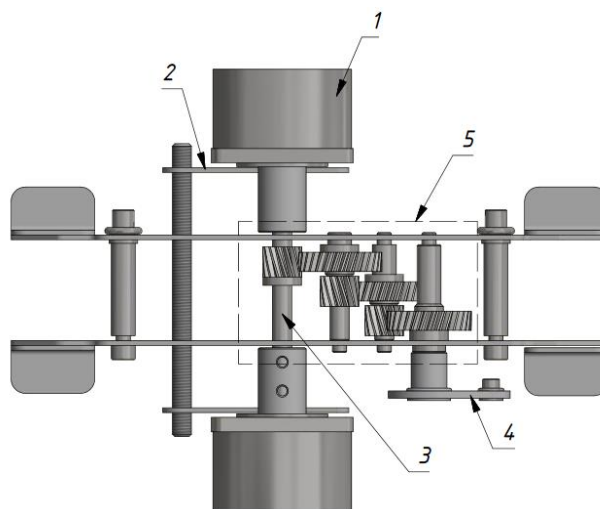
Рис. 1. Електрична схема енергогенеруючої плитки

У відповідності до рис. 1 та рис. 2, енергогенеруюча плитка має у складі електромашинного вузла два КД, які з'єднані паралельно у відношенні до електричного навантаження, тобто, працюють за паралельною

схемою на одне навантаження, якщо розглядати їх генераторний режим роботи. Зі статорної обмотки КД вимірюється сигнал напруги на активному опорі R . При відомому значенні опору навантаження та проводячи вимірювання залежності напруги від часу $u = f(t)$, можна розрахувати залежність згенерованої потужності від часу $p = f(t)$ у відповідності до закону Ома [19]:

$$u(t) = R \cdot i(t), \quad (1)$$

де $u(t)$ – змінна напруга, В;
 R – активний опір кола, Ом;
 $i(t)$ – змінний струм, А.



1 – Кроковий двигун типу ДШИ 200; 2 – реактивні тяги; 3 – вихідний вал редуктора; 4 – кривошип; 5 – редуктор

Рис. 2. Конструкція електромашинного вузла енергогенеруючої плитки

Миттєва потужність, що виділяється на опорі визначається:

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}, \quad (2)$$

де P – миттєва потужність, Вт;

$$u = u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u);$$

$$i = i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Відомо, що для резистора $\psi_u = \psi_i$, тоді для потужності p отримаємо:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m I_m \sin^2(\omega t + \psi_u); \quad (3)$$

З рівняння (3) видно, що миттєва потужність завжди більше нуля і змінюється у часі. У таких випадках прийнято розглядати середню за період T потужність:

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m I_m \sin^2(\omega t + \psi_u); \quad (4)$$

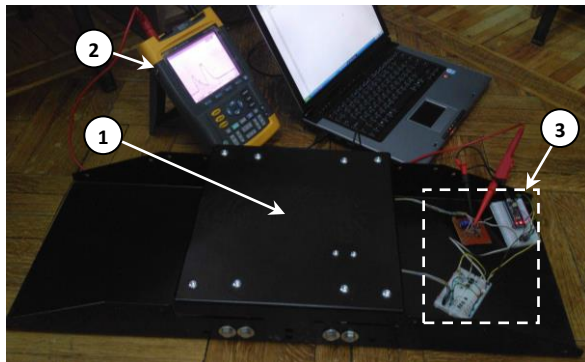
Виконавши інтегрування отриманих кривих $p = f(t)$ можна визначити значення згенерованої потужності енергогенеруючою плиткою.

Експериментальні дослідження. У відповідності до рис. 1 та рис. 2 було розроблено дослідний зразок енергогенеруючої плитки, зовнішній вигляд якої представлено на рис. 3.

Умови експерименту.

1. Дослідження роботи електромашинного вузлу енергогенеруючої плитки при підключенні одного КД.

2. Дослідження роботи електромашинного вузлу енергогенеруючої плитки при підключенні двох КД.



1 – натискна кришка енергогенеруючої плитки;

2 – осцилограф; 3 – система управління

Рис. 3. Дослідний зразок енергогенеруючої плитки

У відповідності до електричної схеми, рис.1, було вибрано опір навантаження $R = 18 \text{ Ом}$. Цифровим вольтметром V вимірюється сигнал напруги на опорі R та розраховується струм навантаження. Потім розраховується потужність, яка виділяється на даному опорі. Для зменшення похибки вимірювання досліди були поділені на 100 серій по 10 кроків на енергогенеруючу плитку. В експериментальних дослідженнях приймало участь 5 чоловік з вагою від 50 кг до 90 кг. Швидкість ходьби 5 км/год.

Типові осцилограми вимірюваних сигналів напруги $u = f(t)$ представлено на рис. 4. Кожен крок генерує два імпульси напруги.

Обробка експериментальних досліджень. Всі вимірювання проводились на активному опорі $R = 18 \text{ Ом}$. У відповідності до закону Ома (1) було визначено струм та потужність, що виділяється на даному опорі при натисканні на енергогенеруючу плитку.

Графік згенерованої потужності у відповідності до виразів (2) та (4), можна отримати виконавши інтегрування вимірюваних осцилограм (див. рис. 4). Інтегрування осцилограм проведено у відповідності до методу трапецій [20]:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{2} \left(f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n) \right), \quad (5)$$

де $[a; b]$ – відрізок (границі) інтегрування;

$$h = \frac{a-b}{n} \text{ – крок розбиття;}$$

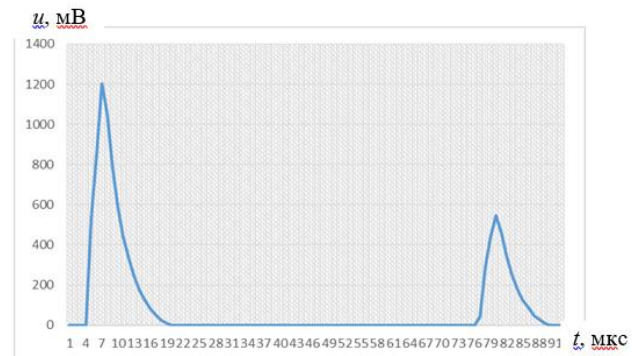
$i = 0, 1, \dots, n;$

$f(x)$ – значення підінтегральної функції.

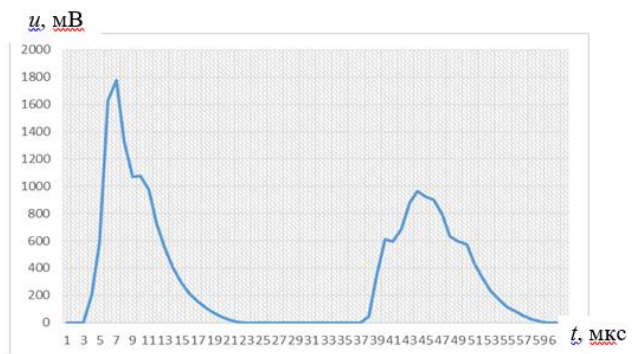
Вираз (5), може бути записаний у вигляді:

$$P = \int_0^T p(t) dt \approx \frac{h}{2} \cdot \left(p(t_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} p(t_i) + p(t_n) \right). \quad (6)$$

У відповідності до виразу (6) проведемо інтегрування вимірюваних осцилограм $u = f(t)$, що представлені на рис. 4.



а



б

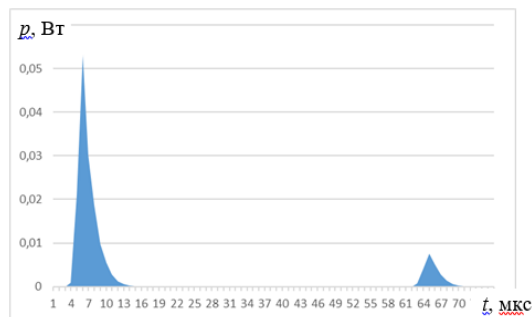
Рис. 4. Осцилограми залежності $u = f(t)$, що виміряні при виконанні одного кроку на енергогенеруючу плитку: а – при підключенні одного КД; б – при підключенні двох КД

На рис. 5 представлено отриману графічну залежність $p = f(t)$ при одному кроці на енергогенеруючу плитку.

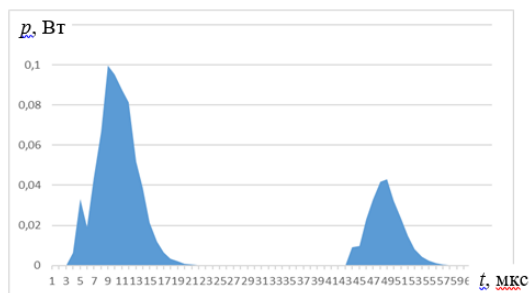
Значення згенерованої потужності, що розраховані при обробці експериментальних досліджень за виразом (6) для однієї серії з 10 кроків наведено у табл. 1, де k – коефіцієнт підсилення (показує ступінь збільшення значення генерації при підключенні двох КД).

Таблиця 1 – Значення згенерованої потужності

	Серії по 10 кроків									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 КД, Вт	2,87	1,66	3,64	3,12	2,11	3,54	4,21	2,88	3,56	3,22
2 КД, Вт	13,84	5,55	11,4	12,12	9,85	13,24	13,85	9,87	13,54	12,38
k	4,8	3,3	3,2	3,9	4,6	3,7	3,3	3,4	3,8	3,8



а



б

Рис. 5. Залежність генерованої потужності від часу: а – при підключенні одного КД; б – при підключенні двох КД

Висновки. Аналіз проведених експериментальних досліджень та їх обробка показують, що підключення двох КД до електромашинного вузлу енергогенеруючої плитки дає змогу підвищити значення згенерованої електроенергії приблизно в 3,9 рази. Отриманий результат цілком відповідає принципам протікання електромеханічних процесів, що описує теорія електроприводу та базові закони теоретичних основ електротехніки. Так, у відповідності до закону Ома (1), а також аналітичних виразів (2)–(4), потужність, що виділяється на активному опорі в електричному колі, являє собою квадратичну залежність від електричного струму, що протікає по даному опору.

Один крок на енергогенеруючу плитку може в середньому згенерувати близько 1,16 Вт електроенергії.

Значення згенерованої енергії від одного кроку на енергогенеруючу плитку в більшій мірі залежить не від ваги людини, а від того, як швидко (різко) робиться крок. Чим швидше темп ходьби та більш різко виконуються кроки, тим більше енергії генерується.

Список літератури

1. Erik Ela, Congcong Wang, Sai Moorthy, Kenneth Ragsdale, Jon O'Sullivan, Mark Rothleder, Ben Hobbs. *Electricity Markets and Renewables: A Survey of Potential Design Changes and Their Consequences*. IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 15, Issue: 6, Nov.-Dec. 2017). 2017. С. 70–82. DOI: 10.1109/MPE.2017.2730827.
2. Гнатів А. В., Аргун І. В. Енергогенеруюча плитка, як альтернативне малопотужне джерело електричної енергії. *Автомобільний транспорт*. Харків: ХНАДУ. 2017. Вип. 40. С. 167–172.
3. Scotland 'on target' for 100% renewable energy by 2020. URL: [https://www.irishtimes.com/news/ireland/irish-](https://www.irishtimes.com/news/ireland/irish-news/scotland-on-target-for-100-renewable-energy-by-2020-1.3280498)

[news/scotland-on-target-for-100-renewable-energy-by-2020-1.3280498](https://www.irishtimes.com/news/ireland/irish-news/scotland-on-target-for-100-renewable-energy-by-2020-1.3280498) (дата звернення 01.10.2018).

4. *Energy Globe Award 2019 for sustainability*. URL: <https://www.science-community.org/ru/node/194139> (дата звернення 01.10.2018).

5. 7 источников финансирования зеленых проектов в Украине. URL: <https://inventure.com.ua/analytics/formula/7-istochnikov-finansirovaniya-zelenyh-proektov-v-ukraine#>. 01.12.2017 (дата звернення 01.10.2018).

6. Гнатів А. В., Аргун І. В. Властивості та способи застосування п'єзоелектричних елементів, як генераторів електроенергії. *Автомобільний транспорт*. Харків: ХНАДУ. 2017. Вип. 41. С. 178–187.

7. Xiaofeng Li, Strezov V. *Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building*. Energy Conversion and Management. 2014. С. 435–442. doi:10.1016/j.enconman.2014.05.096.

8. Пат. 121490 України, H02K. *Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з мультиплікатором* / Гнатів А. В., Аргун І. В., Дзюбенко О. А.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатів А. В. – № у 2017 05464; заявл. 02.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.

9. Пат. 2 482 568 Росії, H01L 41/11. *Сбор энергии с дорог и взлетно-посадочных полос* / Абрамович Х., Хараши Е., и др. заявл. 20.03.2012; опубл. 20.05.2013.

10. Xinyu Xue, Sihong Wang. Hybridizing Energy Conversion and Storage in a Mechanical-to-Electrochemical Process for Self-Charging Power Cell. *Nano Letters*, 2012. DOI: 10.1021/nl302879t.

11. Cafiso Salvatore; Cuomo M. *Experimental Analysis for Piezoelectric Transducers Applications into Roads Pavements*. Advanced Materials Research. 2013. №. 684. pp. 253–257. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.684.253.

12. Pan J. F., Zou, Yu Cheung. The direct-drive sensor less generation system for wave energy utilization. *International journal of electrical power & energy systems*, 2014. №. 62. С. 29–37.

13. Ramli M., Hanif M., Yunus M., Hazwan M., Low Cheng. Yee *Scavenging energy from human activities using piezoelectric material* / 2nd International Conference on System-Integrated Intelligence (SysInt) – Challenges for Product and Production Engineering / Univ Bremen, Bremen, Germany: Jul 02-04, 2014.

14. Papagiannakis A. T., Dessouky S. Montoya A. *Energy Harvesting from Roadways* / 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT) / 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT) / Madrid, SPAIN: May 23-26, 2016. №.83. С. 758-765.

15. Datta Rajesh Kumar, Rahman Sazid. *Power Generating Slabs: Lost energy conversion of human locomotive force into electrical energy* / International Conference on Electrical and Computer Engineering / Dhaka, Bangladesh: Dec 20-22, 2014. С. 718-721. DOI: 10.1109 / ICECE.2014.7026831.

16. Ionica Ioana, Modreanu Mircea, Morega Alexandru. *Design and Modeling of a Hybrid Stepper Motor*. 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). Bucharest, Romania: MAR 23-25, 2017. С. 192-195.

17. Skofic Jan, Boltezar M. *Numerical modelling of the rotor movement in a permanent-magnet stepper motor*. Iet Electric Power Applications. 2014. № 8(4). С. 155-163.

18. *How to Build a Hand Crank Flashlight*. URL: <https://www.brighthubengineering.com/diy-electronics-devices/109647-how-to-build-a-magneto-crank-flashlight/> (дата звернення 01.10.2018).

19. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Москва: Высшая школа, 1978. 333 с.
20. Шипачев В. С. *Высшая математика*. Москва: Высшая школа, 1990. 479 с.

References (transliterated)

1. Erik Ela, Congcong Wang, Sai Moorthy, Kenneth Ragsdale, Jon O'Sullivan, Mark Rothleder, Ben Hobbs. *Electricity Markets and Renewables: A Survey of Potential Design Changes and Their Consequences*. IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 15, Issue: 6, Nov.-Dec. 2017). 2017. pp. 70–82. DOI: 10.1109/MPE.2017.2730827.
2. Hnatov A. V., Arhun Shch. V. Energogeneruyucha ply`tka, yak al`ternaty`vne malopotuzhne dzherelo elektry`chnoyi energiyi. [Power generating tile, as an alternative low-power electric power source.] *Avtomoby`l`nyy transport*. Xarkiv: XNADU. 2017. no. 40. pp. 167–172.
3. Scotland 'on target' for 100% renewable energy by 2020. Available at: <https://www.irishtimes.com/news/ireland/irish-news/scotland-on-target-for-100-renewable-energy-by-2020-1.3280498> (accessed 01.10.2018).
4. Energy Globe Award 2019 for sustainability. Available at: <https://www.sciencecommunity.org/ru/node/194139> (accessed 01.10.2018).
5. 7 istochnikov finansirovaniya zelenyih proektov v Ukraine [7 sources of financing green projects in Ukraine]. Available at: <https://inventure.com.ua/analytics/formula/7-istochnikov-finansirovaniya-zelenyih-proektov-v-ukraine#>. 01.12.2017 ((accessed 01.10.2018).
6. Hnatov A. V., Arhun Shch. V. Vlasty`vosti ta sposoby` zastosuvannya p'yezoelektry`chny`x elementiv, yak generatoriv elektroenergiyi [Properties and methods of applying piezoelectric elements, as power generators]. *Avtomoby`l`nyy transport* Xarkiv: XNADU. 2017. no. 41. pp. 178–187.
7. Xiaofeng Li, Strezov V. *Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building*. Energy Conversion and Management. 2014. Pp. 435–442. doi:10.1016/j.enconman.2014.05.096.
8. Hnatov A. V., Arhun Shch. V., Dzyubenko O. A. *Elektromexanichny`j pry`striy peretvorenniya kinety`chnoyi energiyi v elektry`chnu z mul`ty`plikatorom* [Electromechanical device for converting kinetic energy into electric with a multiplier]. Patent UA, no. u 2017 05464, 2017.
9. Abramovich H., Harash E. *Sbor energii s dorog i vzletno-posadochnyih polos*. Patent RF no. 2482568, 2013.
10. Xinyu Xue, Sihong Wang. Hybridizing Energy Conversion and Storage in a Mechanical-to-Electrochemical Process for Self-Charging Power Cell. *Nano Letters*, 2012. DOI: 10.1021/nl302879t.
11. Cafiso Salvatore; Cuomo M. *Experimental Analysis for Piezoelectric Transducers Applications into Roads Pavements*. Advanced Materials Research. 2013. no. 684. pp. 253–257. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.684.253.
12. Pan J. F., Zou, Yu Cheung. The direct-drive sensor less generation system for wave energy utilization. *International journal of electrical power & energy systems*, 2014. no. 62. pp. 29–37.
13. Ramli M., Hanif M., Yunus M., Hazwan M., Low Cheng. Yee *Scavenging energy from human activities using piezoelectric material*. 2nd International Conference on System-Integrated Intelligence (SysInt) – Challenges for Product and Production Engineering. Univ Bremen, Bremen, Germany: Jul 02-04, 2014.
14. Papagiannakis A. T., Dessouky S. Montoya A. *Energy Harvesting from Roadways* / 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies (ANT) / 6th International Conference on Sustainable Energy Information Technology (SEIT) / Madrid, SPAIN: May 23-26, 2016. no. 83. pp. 758–765.
15. Datta Rajesh Kumar, Rahman Sazid. *Power Generating Slabs: Lost energy conversion of human locomotive force into electrical energy* / International Conference on Electrical and Computer Engineering / Dhaka, Bangladesh: Dec 20–22, 2014. pp. 718–721. DOI: 10.1109 / ICECE.2014.7026831.
16. Ionica Ioana, Modreanu Mircea, Morega Alexandru. *Design and Modeling of a Hybrid Stepper Motor*. 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering. Bucharest, Romania: MAR 23–25, 2017. pp. 192–195.
17. Skofic Jan, Boltezar M. *Numerical modelling of the rotor movement in a permanent-magnet stepper motor*. *Iet Electric Power Applications*. 2014. no 8(4). pp. 155–163.
18. *How to Build a Hand Crank Flashlight*. Available at: <https://www.brighthubengineering.com/diy-electronics-devices/109647-how-to-build-a-magneto-crank-flashlight/> (accessed 01.10.2018).
19. Bessonov L.A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki*. Elektricheskie tsepi [Theoretical foundations of electrical engineering. Electrical circuits]. Moskva: Vysshaya shkola, 1978. 333 p.
20. Shipachev V. S. *Vysshaya matematika* [Higher mathematics]. Moskva: Vysshaya shkola, 1990. 479 p.

Надійшло (received) 30.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аргун Щасяна Валіковна (Аргун Щасяна Валиковна, Arhun Shchasiana Valikovna) – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри автомобільної електроніки; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6098-8661>; e-mail: shasyana@gmail.com

Гнатів Андрій Вікторович (Гнатів Андрей Викторович, Hnatov Andrii Viktorovich) – доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри автомобільної електроніки; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0932-8849>; e-mail: kalifus76@gmail.com

Дзюбенко Олександр Андрійович (Дзюбенко Александр Андреевич, Dzyubenko Oleksandr Andriyovych) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри автомобільної електроніки; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0387-4956>; e-mail: dzyubenko.alan@gmail.com

Понікаровська Світлана Володимирівна (Поникаровская Светлана Владимировна, Ponikarovska Svitlana Volodymyrivna) – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ст. викладач кафедри іноземних мов; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9432-402X>; e-mail: ponikarovska@gmail.com